

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра математической теории экономических решений

Патарушина Юлия Александровна

Выпускная квалификационная работа бакалавра

**Оценка затрат/результатов при освоении
месторождений и производстве тугоплавких металлов**

Направление 010400

Прикладная математика и информатика

Научный руководитель,
ассистент кафедры
математической теории
экономических решений
Волкова М.В.

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

Введение.....	3
Постановка задачи.....	4
Глава 1. Основная информация	5
1.1. Вольфрам	5
1.2. Молибден	7
Глава 2. Разработка месторождений вольфрама и молибдена	9
2.1. Основные месторождения вольфрама	9
2.2. Основные месторождения молибдена	12
Глава 3. Построение регрессий.....	15
3.1. Основная информация	15
3.2. Построение регрессий для вольфрама	18
3.2.1. Построение регрессии для объёма потребления вольфрама.....	18
3.3. Построение регрессии для молибдена	29
3.3.1. Построение регрессий и прогнозирование объёма потребления молибдена	29
3.3.2. Построение регрессий и прогнозирование цены молибдена	33
3.4. Связь между потреблением и ценой вольфрама и молибдена	35
Выводы	37
Заключение	38
Список используемой литературы	39
Приложения	40

Введение

Тугоплавкие металлы - класс химических элементов (металлов), имеющих очень высокую температуру плавления и стойкость к изнашиванию.

Основными представителями данного класса элементов являются элементы пятого периода — ниобий и молибден; шестого периода — тантал, вольфрам и рений. Все они имеют температуру плавления выше 2000 °С, химически относительно инертны и обладают повышенным показателем плотности. Благодаря порошковой металлургии из них можно получать детали для разных областей промышленности [1].

На данный момент Россия обладает огромными запасами вольфрама и молибдена, но не входит в число крупных продуцентов молибденового и вольфрамового сырья. Многие крупные месторождения России остаются неразработанными. В ходе нашей работы мы постараемся определить, какие затраты необходимы для разработки новых месторождений и какой результат мы получим.

Постановка задачи

В ходе работы мы:

1. Определим основные сферы применения вольфрама и молибдена, состояние минерально-сырьевой базы страны на данный момент.
2. Рассмотрим основные месторождения вольфрама и молибдена, определим затраты на их разработку и запуск производства.
3. Определим увеличение производства после ввода в эксплуатацию новых месторождений.
4. Найдём зависимость между ВВП основных стран потребителей и производителей и объёмами потребления каждого из металлов.
5. Найдём зависимость между ВВП основных стран потребителей и производителей и ценой каждого из металлов.
6. Вычислим экономическую выгоду от разработки новых месторождений.
7. Сделаем выводы о результатах разработки.

Глава 1. Основная информация

1.1. Вольфрам

Вольфрам - самый тугоплавкий металл. Атомная масса вольфрама 183,84 а. е. м. (г/моль). Основные сферы использования вольфрама: снаряды артиллерийских орудий, бронебойные пули, гироскопы баллистических ракет, танковая броня. Так же вольфрам применяется в качестве электродов в сварке, как материал хирургических инструментов, при изготовлении нитей ламп накаливания. Сплав вольфрама и рения используют в ракетостроении [2].

Триоксид вольфрама – WO_3 – порошок лимонно-жёлтого цвета, молярная масса 231г/моль. Температура плавления 1470 °С. В воде и минеральных кислотах почти не растворяется. До металла восстанавливается водородом при температуре 700 - 900 °С, углеродом - при температуре 1000 °С.

Процесс получения вольфрама: из рудных концентратов выделяют триоксид вольфрама. Далее восстанавливают водородом до металлического порошка при температуре около 700 °С.

Так как обогатительные комбинаты могут производить продукт, содержащий различное количество металла, расчёт производства, экспорта и импорта ведётся в пересчёте на вольфрамовый концентрат, содержащий 60% WO_3 .

Потребление вольфрамовых концентратов во многом определяется географией их производства. Продукция, производимая в Сибири, в основном используется внутри страны. Шеелитовые концентраты, которые получают в Приморском крае из-за высокой стоимости не устраивают российского потребителя и в основном идут на экспорт [3].

Таблица № 1 «Использование Российской минерально-сырьевой базы вольфрама в 2008-2014 гг»

	Произведено вольфрамовых концентратов (т)	Количество действующих лицензий	Цена W на мировом рынке \$/кг	Экспорт концентрата (т)	Импорт концентрата (т)	Потребление внутри страны (т)
2014	5612,8	13	224,8	3505	1370	3477,8
2013	6266,4	14	278,4	4233	159	2192,4
2012	7252,6	13	350	6214	75	1113,6
2011	7103,2	12	375,2	4316	0	2787,2
2010	5588,7	20	422,6	3159	55	2484,7
2009	5696,3	20	150	5461	18	253,3
2008	6314	16	150	3953	188	2549

Данные государственных докладов «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ» [3].

Таблица № 2 «Мировое потребление вольфрама, тонн»

	2008	2009	2010	2011	2012
США	9250	7100	9300	11400	12000
Европа	12050	5850	8800	13500	12000
Япония	7750	2500	7350	5850	6000
Китай	31800	34350	39400	39500	40000
Прочие страны	4350	2200	6150	4750	5000
Всего	65200	52000	71000	75000	75000

* данные International Tungsten Industry Association

1.2. Молибден

Молибден – переходный металл светло-серого цвета, в основном применяется в металлургии. Атомный вес молибдена 95,96 а.е.м.(г/моль). Природный молибден состоит из стабильных изотопов ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{95}Mo , ^{96}Mo , ^{97}Mo , ^{98}Mo и в ничтожных количествах ^{93}Mo и ^{100}Mo . Их химические и физические свойства почти неразличимы и в производстве их не разделяют.

Получение молибдена: рудный концентрат обжигают до получения оксида, который подвергают очистке. Очищенный оксид восстанавливают водородом. Полученные заготовки обрабатывают давлением.

Молибден используется для легирования сталей как компонент жаропрочных и коррозионностойких сплавов. Молибденовая проволока (лента) служит для изготовления высокотемпературных печей, вводов электрического тока в лампочках. MoS_2 используется как твердая высокотемпературная смазка [4].

В медицине используется ^{99}Mo с периодом полураспада 66 часов. Но к добыче молибдена из руды он не имеет отношения, так как его производят путём облучения нейтронами ^{235}U [5], [6].

Молибден применяется в высокотемпературных вакуумных печах сопротивления в качестве нагревательных элементов и теплоизоляции. Дисульфид молибдена применяется в качестве нагревателей в печах с окислительной атмосферой, работающих до 1800 °С.

Из молибдена изготавливаются крючки-держатели тела накала ламп накаливания, в том числе ламп накаливания общего назначения.

Молибденовый концентрат – продукт обогащения полезных ископаемых, более пригодный для дальнейшей обработки, чем исходное сырьё.

Так как обогатительные комбинаты могут производить продукт, содержащий различное количество металла, расчёт производства, экспорта и импорта ведётся в пересчёте на вольфрамовый концентрат, содержащий 60% Мо.

В России молибденовые концентраты производятся и затем перерабатываются в ферромolibден с содержанием Мо более 65% на обогатительных предприятиях. Недостаток собственной сырьевой базы молибдена компенсируется импортом [3].

Ферромolibден – ферросплав, с содержанием молибдена 50-60%. Ферромolibден используют при легировании стали, чугуна и сплавов. Молибден улучшает прокаливаемость и закаливаемость стали. Добавка молибдена в чугун увеличивает его прочность и сопротивление износу [1].
Таблица № 3 «Использование Российской минерально-сырьевой базы молибдена в 2008-2014 годах»

Год	Произведено молиб. концентратов (т)	Колич. действ. лицензий	Цена Мо на мировом рынке (\$/кг)	Экспорт концентрата (т)	Импорт концентрата (т)	Потребление внутри страны (т)
2014	7374,6	19	14,64	1377	8619	14616,6
2013	8214	19	25,06	0	1513	9727
2012	11051	19	22,61	1084	810	10777
2011	10344,8	18	28	6267	2459	6536,8
2010	10178,2	17	35,7	6338	1362	5202
2009	9950,9	18	34,6	21	752	10681,9
2008	8843	19	25,18	18	1311	10136

Данные государственных докладов «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ» [3].

Глава 2. Разработка месторождений вольфрама и молибдена

В СССР и Российской Федерации запасы по степени достоверности делятся на 4 категории: А, В, С1 и С2.

Категория «А» — Детально разведанные запасы полезных ископаемых. Границы, форма и строение тел полезных ископаемых должны быть полностью определены, известны типы и промышленные сорта сырья, а также геологические факторы, влияющие на условия их добычи.

Категория «В» — Предварительно разведанные запасы полезных ископаемых. Приблизительно определены контуры тел полезных ископаемых, точное пространственное положение природных типов сырья пространственно не отображены.

Категория «С1» — Запасы разведанных месторождений сложного геологического строения и слабо разведанные запасы полезных ископаемых. Применяется на новых площадях и на площадях, прилегающих к детально разведанным участкам. Оценка запасов категории С1 производится экстраполяцией геологических данных с детально разведанных участков месторождений.

Категории «С2» — Перспективные, неразведанные запасы. Оцениваются путем толкования геологического строения, с учётом аналогии сходных и подробно разведанных тел полезных ископаемых [7].

2.1. Основные месторождения вольфрама

В России основными источниками вольфрамового сырья являются различные месторождения штокверкового, жильного, скарнового геолого-промышленного типов, руды которых делятся на вольфрамитовые и шеелитовые. Шеелит— минерал, состоит из CaWO_4 (вольфрамат кальция) с

примесями WO_3 , Mn, Sr, Nb, Ta, Cr, F, Cu, обычно окрашен в серый, жёлтый, бурый или красный цвет. Вольфрамит вместе с шеелитом является важнейшей рудой вольфрама. Сплавы используются для изготовления особо прочных инструментов и брони [8].

Среднее содержание WO_3 в запасах эксплуатируемых и осваиваемых объектов варьируется от 0,21% до 2,1%. Вольфрам в рудах может являться как основным, так и попутным компонентом. Вольфрамовые руды бедны вольфрамом и их разработка рентабельна при содержании WO_3 от 0,14 %.

Таблица № 4 «Основные месторождения вольфрама в России»

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс.т. WO ₃		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание WO ₃ в рудах, %	Добыча в 2014 г, тонн WO ₃
		A+B+C ₁	C ₂			
Восток-2 (Приморский край)	Скарновый шеелитовый	0,132	16,16	1	1,3	1621
Лермонтовское (Приморский край)	Скарновый шеелитовый	4,49	0,46	0,3	2,295	988
Бом-Горхонское (Забайкальский край)	Жильный вольфрамитовый	2,58	10,3	0,8	0,952	250
Спокойнинское (Забайкальский край)	Штокверный вольфрамитовый	22,2	3,8	1,7	0,227	1857
Инкурское (Республика Бурятия)	Штокверный вольфрамитовый	170,9	13,6	1,85	0,149	0
Холтосонское (Республика Бурятия)	Жильный вольфрамитовый	5,67	26,69	2,1	0,748	0
Тырныаузское (Кабрадино-Балкарская Республика)	Скарновый шеелитовый с попутным молибденом	508,1	60,82	36,5	0,16	0
Агылкинское (Республика Саха(Якутия))	Скарновый шеелитовый	90,86	0	5,8	1,271	0

Данные государственных докладов «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ» [3].

Тырныаузское и Агылкинское месторождения на данный момент никому не принадлежат и разработка месторождений не ведётся. Инкурское и Холтосонское месторождения принадлежат ООО «Твердосплав». Существуют планы их освоения. По оценкам экспертов ГКЗ «Роснедра» можно рассматривать Холтосонское месторождение крупным рудным объектом для добычи 200 тыс. тонн руды в год сроком более 20 лет. Содержание WO₃ в руде – 0,74%, что позволяет нам получать 2467 тонн

вольфрамового концентрата в год. Инкурское месторождение позволит перерабатывать до 1,5 млн. тонн руды в год с содержанием оксида металла в руде 0,15%. Это позволит нам получать 3750 тонн вольфрамового концентрата в концентратах в год (инвестиционная площадка ОАЗИС).

В целом ввод в эксплуатацию этих месторождений позволит увеличить производство вольфрамовых концентратов на 6217 тонн. Общее производство с учётом действующих на данный момент месторождений составит 210,7% от текущего уровня. Необходимые инвестиции в эти проекты - 600 млн. долларов.

2.2. Основные месторождения молибдена

Российская сырьевая база молибдена значительна – 2,1 млн тонн. Россия занимает шестое место среди стран - держателей запасов. На территории России в руде доминируют штокверные объекты, руды которых содержат 0,01-0,1 % Мо. На их долю приходится около 80% запасов молибдена и почти вся его добыча. В мире месторождения подобного типа составляют 33% от общей базы и обеспечивают менее 30% добычи.

Таблица № 5 «Основные месторождения молибдена в России»

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс.т. Мо		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Мо в рудах, %	Добыча в 2014 г, тонн
		A+B+C ₁	C ₂			
Сорское (Республика Хакасия)	Штокверковый собственно молибденовый	106,4	0,2	5,1	0,06	4033
Агаскырское (Республика Хакасия)	Штокверковый собственно молибденовый	155,3	0	7,4	0,05	0
Жирекенское (Забайкальский край)	Штокверковый собственно молибденовый	61,6	0	3	0,105	0
Бугдаинское (Забайкальский край)	Штокверковый собственно молибденовый	347,5	252,2	28,7	0,08	0
Ореkitканское (Республика Бурятия)	Штокверковый собственно молибденовый	246,7	113,6	17,3	0,099	0
Тырныаузское (Кабрадино-Балкарская Республика)	Скарновый вольфрамовый с попутным молибденом	130,1	13,6	6,9	0,041	0
Мало-Йоногорское (Республика Бурятия)	Штокверковый собственно молибденовый	154,9	0	7,4	0,051	0

Данные государственных докладов «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ» [3].

Тырныаузское и Мало-Йоногорское месторождения на данный момент никому не принадлежат, разработка месторождений не ведётся. В нашей работе мы будем рассматривать Жирекенское и Ореkitкаинское месторождения. Опираясь на технический отчёт компании SRK (SRK - независимая международная консалтинговая компания, специализирующаяся в горнодобывающей отрасли), возможный объём переработки руды на Жирекенском месторождении – 4 млн. тонн, что обеспечивает 4200 тонн

молибдена в год. Расчётный срок эксплуатации 17 лет. Затраты на разработку и ввод в эксплуатацию составят примерно 257 млн. долларов.

На Орекиткаинском месторождении предполагаемый объём переработки руды 9 млн. тонн, что обеспечивает 8910 тонн металла в год. Ввод в эксплуатацию этих месторождений позволит увеличить добычу металла в России на 325 %, до 17 143 тонн металла в год. Производство молибденового концентрата составит 40594 тонны в год. Затраты на ввод в эксплуатацию месторождения составят примерно 307 млн. долларов (инвестиционная площадка ОАЗИС).

Глава 3. Построение регрессий

3.1. Основная информация

Как известно, результат процесса производства зависит от большого количества факторов. С помощью анализа можно выявить, какие факторы и как влияют на результат производства. Хорошим способом описания зависимостей, между факторами производства и результатом деятельности является построение различных регрессий.

Регрессия – математическое выражение, показывающее зависимость переменной y от нескольких независимых переменных x , когда выражение имеет статистическую зависимость [9].

Расчёт коэффициентов регрессий будем производить в программе ekel.

Основные используемые регрессии:

1. Линейная регрессия:

$$f_1(\vec{a}, \vec{x}, b) := \vec{a} \cdot \vec{x} + b \quad . \quad (1)$$

2. Мультипликативная регрессия:

$$f_2(\vec{a}, \vec{x}, b) := b \prod_i x_i^{a_i} \quad . \quad (2)$$

3. Экспоненциальная регрессия:

$$f_3(\vec{a}, \vec{x}, b) := be^{\vec{a} \cdot \vec{x}} \quad . \quad (3)$$

4. Обратная регрессия:

$$f_4(\vec{a}, \vec{x}, b) := \frac{b}{1 - \vec{a} \cdot \vec{x}} \quad . \quad (4)$$

Неизвестные коэффициенты найдём, минимизируя функционал по параметрам \vec{a}, b , с ограничениями на знак: $\vec{a} \geq 0$ (покомпонентно), $b \geq 0$.

$$F_k(\vec{a}, b) = \sum_j (y_j - f_k(\vec{a}, \vec{x}^j, b))^2. \quad (5)$$

В выше приведённых формулах используются следующие обозначения:

k - номер регрессии, $k = \overline{1, 4}$,

$\vec{x} = (x_1 \dots x_n)$ – вектор факторов,

y_j – фактическое значение аппроксимируемой функции в j -ом году,

$\vec{a} = (a_1 \dots a_n)$ – вектор факторных параметров,

b – внефакторный параметр,

n – количество факторов,

i – номер фактора в формуле,

j – номер года.

Сферы потребления вольфрама и молибдена различны, но потребность каждой страны в этих металлах зависит от количества товаров, который производятся в каждой из стран. Основной макроэкономический показатель, отражающий рыночную стоимость товаров и услуг произведённых за год во всех отраслях на территории государства для потребления, экспорта и накопления – валовый внутренний продукт (ВВП) по паритету покупательной способности (ППС). Именно этот показатель позволит оценить потребность стран в вольфраме и молибдене. Построим регрессию, связывающую ВВП основных потребителей металлов и мировые объёмы его потребления.

Паритет покупательной способности (ППС) – соотношение валют двух или нескольких стран, устанавливаемое по их покупательной способности применительно к определённому набору товаров и услуг [10].

Данные по ВВП и размеру инфляции возьмём с сайта Всемирного Банка.

Таблица № 6 «ВВП по ППС США, России, Индии, Китая, Японии, ЕС и уровень инфляции в США в 2008-20014 годах»

	США, трлн. \$	Россия, трлн. \$	Индия, трлн. \$	Китай, трлн. \$	Япония, трлн. \$	ЕС трлн. \$	Уровень инфляции США (%)
2014	17,35	3,67	7,34	18,08	4,65	17,61	0,76
2013	16,66	3,47	6,74	16,589	4,66	15,83	1,50
2012	16,16	3,63	6,21	15,156	4,56	15,83	1,74
2011	15,52	3,44	5,78	13,81	4,39	15,39	2,96
2010	14,96	2,93	5,31	12,356	4,32	14,82	1,50
2009	14,42	2,77	4,76	11,04	4,08	14,43	2,72
2008	14,72	2,88	4,35	10,03	4,29	14,91	0,09

В наших расчётах мы будем использовать ВВП по ППС стран в ценах 2014 года.

Таблица № 7 «ВВП по ППС США, России, Индии, Китая, Японии и ЕС в ценах 2014 года и мировое потребление вольфрама и молибдена»

	Россия, трлн. \$	Китай, трлн. \$	США, трлн. \$	Индия, трлн. \$	Япония, трлн. \$	ЕС, трлн. \$	Мировое потреб. вольфрама (тыс. т)	Мировое потреб. молибдена (тыс. т)
2014	3,67	18,08	17,35	7,35	4,65	17,61	95	250,1
2013	3,50	16,71	16,79	6,79	4,69	15,95	85	246,7
2012	3,71	15,5	16,52	6,35	4,66	16,19	75	240,5
2011	3,58	14,37	16,15	6,01	4,57	16,01	75	236,7
2010	3,14	13,24	16,03	5,69	4,62	15,87	71	225,6
2009	3,01	12,00	15,68	5,17	4,43	15,69	52	211,8
2008	3,22	11,2	16,44	4,86	4,79	16,65	65	227,9

На основе этих данных построим различные регрессии, показывающие зависимость объёма потребления каждого из металлов от ВВП основных стран

потребителей. Строить регрессии мы будем на основе данных за 2008-2013 гг., используя 2014 год как контрольный для проверки точности работы функции. В качестве факторов будем рассматривать различные комбинации ВВП. Критерием качества будет выступать отклонение прогнозного результата от фактического. Составим сравнительные таблицы и посмотрим, какая регрессия даёт наиболее точное приближение.

На все коэффициенты мы наложим ограничение $a_i, b \geq 0$ (естественное ожидание влияния соответствующих факторов производства).

Процентное отклонение будем считать по следующей формуле:

$$D = \frac{v-m}{m} \times 100\%, \text{ где } v - \text{предсказанное значение, } m - \text{фактическое значение.}$$

После выберем наиболее точную регрессию и с её помощью будем прогнозировать цену на металл.

3.2. Построение регрессий для вольфрама

3.2.1. Построение регрессии для объёма потребления вольфрама

По формулам (1) - (5) и данным таблицы 7 построим регрессии, связывающие ВВП потребителей и производителей и объём потребления металла. Сначала используем ВВП 5 стран: России, Китая, США, ЕС и Японии.

Таблица № 8 «Регрессии для объёма потребления вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 95 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при ВВП Японии (a_5)	(b)	Функц.	Прог. (тыс. тонн)	Относ. погр. (%)
Лин. рег.	15,4	1,41	0,00	0,00	5,09E-02	0,00	267,5	82,0	-13,7
Мул. рег.	0,755	0,00	3,63	0,00	0,00	1,138 E-03	162,7	94,7	-0,292
Экс. рег.	0,217	0,00	0,228	0,00	0,00	0,825	165,9	95,8	0,820
Обр. рег.	3,55E-02	5,53E-04	4,21E-02	1,40E-08	0,00	13,06	171,9	-0,216	-100,2

Наилучшее приближение в этом случае мы получили, используя мультипликативную и экспоненциальную регрессии.

Теперь используем ВВП других 5 стран: России, Китая, США, ЕС, Индии.

Таблица № 9 «Регрессии для объёма потребления вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 95 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при ВВП Индии (a_5)	(b)	функц.	прог. (тыс. тонн)	относ. погр. (%)
Лин. рег.	2,594	0,00	0,00	0,00	10,65	0,00	168,10	87,83	-7,55
Мул. рег.	0,429	0,00	0,529	0,175	0,807	0,350	3,28E-02	22,84	-75,9
Экс. рег.	4,09E-04	0,00	1,29E-02	0,176	0,208	1,00E-03	2,05E-02	0,128	-99,9
Обр. рег.	2,77E-05	0,00	4,04E-04	4,84E-04	0,00	3,57E-05	3,83E-05	63,8	-32,8

В этом случае мы наблюдаем достаточно хорошее приближение у линейной регрессии. Но включение ВВП Индии достаточно сильно подпортило результаты. Поэтому теперь попробуем построить регрессии, используя ВВП только 4-х стран: России, Китая, США, ЕС.

Таблица № 10 «Регрессии для объёма потребления вольфрама по 4 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 95 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	(b)	знач. функц.	прогноз потреб. (тыс. тонн)	относит. погр. (%)
лин. рег.	15,5	1,40	0,00	0,00	0,00	267,5	82,0	-13,7
мул. рег.	0,754	0,00	3,63	0,00	1,13E-03	162,7	94,7	0,315
эксп. рег.	0,204	0,00	2,24E-01	0,00	0,893	165,7	95,9	-0,947
обр. рег.	1,29E-02	0,00	4,92E-02	0,00	10,62	195,9	111,1	-16,8

Как мы можем видеть, все регрессии дали достаточно хороший результат, но наилучшее приближение дала мультипликативная регрессия. При выборе формулы для прогнозирования мы будем опираться на 2 критерия: во-первых, точность прогноза на контрольный год, во-вторых, на значение функционала. По этим критериям мы выбираем для прогнозирования объёма потребления вольфрама мультипликативную регрессию из таблицы № 10. Для построения прогноза нам необходимо знать ВВП на 2018 год. Для этого возьмём предсказанные показатели роста ВВП на 2017 и 2018 годах для наших 6 стран.

По данным Всемирного Банка, ВВП России в 2017-2018 годах ожидается рост на 1,5% и 1,7% соответственно. Оценка роста ВВП Японии: до 0,9% и 0,8% на 2017 и 2018 год соответственно. У США рост оценивается на 2,2% в 2017 году и 2,1% в 2018. Ожидаемый рост ВВП Китая в 2017 году составит 6,5% и в 2018 – 6,3%. У стран ЕС ожидается повышение ВВП на 1,5% в 2017 году и на 1,4% в 2018 году. Прогноз увеличения ВВП Индии составил 7,4% и 7,5% в 2017 и 2018 годах.

Рассчитывать ВВП на 2017 и 2018 годы будем в ценах 2016 года, а потом переведем в цены 2014 года, так как все расчёты мы проводили и формулы рассчитывали в ценах 2014 года. Инфляция в США в 2015 и 2016 годах составила 0,73% и 2,07% соответственно.

Таблица №11 «Прогноз ВВП по ППС России, Японии, США, Китая, ЕС и Индии до 2018 года»

	ВВП по ППС в 2016 году (трлн \$)	Ожидаемый рост (%)	Прогноз ВВП по ППС в 2017 году в ценах 2016 года (трлн \$)	Ожидаемый рост (%)	Прогноз ВВП по ППС в 2018 году в ценах 2016 года (трлн \$)	Прогноз ВВП по ППС в 2018 году в ценах 2014 года (трлн \$)
Россия (x_1)	3,71	1,5	3,76	1,7	3,82	3,72
Китай (x_2)	21,32	6,5	22,68	6,3	24,11	23,45
США (x_3)	18,57	2,2	19,01	2,1	19,41	18,88
ЕС (x_4)	17,81	1,5	18,07	1,4	18,32	17,82
Япония (x_5)	4,92	0,9	4,94	0,8	4,98	4,84
Индия (x_6)	8,68	7,4	9,34	7,5	10,04	9,77

Регрессия строится на ВВП России, Китая, США и стран ЕС за 2018 год в ценах 2014 года из таблицы № 11

$$y = 0,00113x_1^{0,754}x_3^{3,63}.$$

Результат прогнозирования 128 тысяч тонн составит потребление вольфрама в 2018 году.

3.2.2. Построение регрессий для цены вольфрама.

Теперь построим регрессии, связывающие ВВП основных стран-потребителей и производителей и цену на вольфрам. В качестве факторов производства возьмём различные комбинации ВВП из таблицы № 7.

Расчёт процентного отклонения будем производить по формуле:

$$D = \frac{q-w}{w} \times 100\%,$$

где q – предсказанное значение цены (\$/кг),

w – фактическое значение цены (\$/кг).

В первом случае мы возьмём комбинацию 5 факторов: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии.

Таблица № 12 «Регрессии для цены вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП Рос- сии (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при ВВП Японии (a_5)	(b)	функц.	прог. цены (\$/кг)	относ. погр. (%)
Лин. Рег.	90,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,19E+04	331,8	47,6
Мул. Рег.	1,81	0,00	6,72E-05	7,40E-05	0,00	33,5	5,88E+04	350,4	55,8
Эксп. Рег.	3,42E-03	0,00	0,00	0,00	0,00	302,1	7,14E+04	305,8	36,04
Обр. регр.	3,44E-03	1,32E-02	1,01E-05	0,00	1,92E-06	245	7,06E+04	-4,06	-1,02E+02

Как мы можем видеть, все приближения дают недостаточно точный результат. Теперь попробуем другую комбинацию ВВП: России, Китая, США, ЕС, Индии.

Таблица № 13 «Регрессии для цены вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. При ВВП ЕС (a_4)	коэф. при ВВП Индии (a_5)	(b)	Функц.	Прогн. цены (\$/кг)	Отн. погр.
лин. рег.	0,00	0,00	0,00	5,67E-04	0,00	30,18	5,14E+05	30,19	-86,6
мул. рег.	0,469	0,00	0,00	0,00	1,24	9,34	5,32E+04	419,9	86,8
экс. рег.	0,221	0,00	0,00	0,00	0,175	51,5	5,50E+04	418,6	86,2
обр. рег.	0,00	0,00	0,00	1,40E-04	2,36E-03	1,02E-03	4,29E+05	1,56E-02	-99,9

Мы можем видеть, что ввод ВВП Индии как независимой переменной снова сильно испортил результаты регрессионного приближения. Поэтому попробуем взять 4 ВВП: России, Китая, США, ЕС.

Таблица № 14 «Регрессии для цены вольфрама по 4 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	(b)	знач. функц.	прогн. цены (\$/кг)	относ. погр. (%)
лин. рег.	90,4	0,00	1,35E-02	0,00	0,00	6,19E+04	331,9	47,6
мул. рег.	2,04	0,00	0,00	0,00	25,4	5,86E+04	359,5	-59,9
экс. рег.	0,740	0,00	0,00	1,26E-02	19,9	5,98E+04	377,3	-67,8
обр. рег.	3,46E-03	0,00	0,00	0,00	302,1	7,14E+04	305,9	-36,1

Наилучшее приближение из приведённых выше регрессий в случае 4 факторов для цены дала обратная регрессия. Но даже этот результат нас не устраивает.

Цена на металл зависит не только от ВВП потребителей и производителей, но и от объёма его потребления.

1. Линейная регрессия:

$$f_5(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := \vec{a} \cdot \vec{x} + cz + b. \quad (6)$$

2. Мультипликативная регрессия:

$$f_6(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := b \left(\prod_i x_i^{a_i} \right) z^c. \quad (7)$$

3. Экспоненциальная регрессия:

$$f_7(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := be^{\vec{a} \cdot \vec{x} + cz}. \quad (8)$$

4. Обратная регрессия:

$$f_8(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := \frac{b}{1 - (\vec{a} \cdot \vec{x} + cz)}. \quad (9)$$

Вполне естественно ожидать, что при увеличении ВВП цена будет увеличиваться, а при увеличении объёма потребления цена будет снижаться. Поэтому добавим к уже рассматриваемым регрессиям ещё 4 дробно-рациональные регрессии.

5. Дробно-рациональная регрессия типа 1:

$$f_9(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := \frac{1}{cz} + \vec{a} \cdot \vec{x} + b. \quad (10)$$

6. Дробно-рациональная регрессия типа 2:

$$f_{10}(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := \frac{\vec{a} \cdot \vec{x}}{cz + b}. \quad (11)$$

7. Дробно-рациональная регрессия типа 3:

$$f_{11}(\vec{a}, \vec{x}, c, z, b) := \vec{a} \cdot \vec{x} + \frac{1}{(cz + b)}. \quad (12)$$

Минимизируя функционал F по параметрам \vec{a} , b , c , с ограничениями на их знак: $\vec{a} \geq 0$ (покомпонентно) и $b \geq 0$, и без ограничения на знак параметра c найдём их оптимальное значение:

$$F_k(\vec{a}, b, c) := \sum_j (y_j - f_k(\vec{a}, \vec{x}^j, b, c, z^j))^2, \quad k = \overline{5, 11}. \quad (13)$$

8. Дробно-рациональная регрессия типа 4:

$$f_{12}(\vec{a}, \vec{x}, z) := \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{x}}{z} \right). \quad (14)$$

Минимизируя функционал F по параметру \vec{a} с ограничением на знак $\vec{a} \geq 0$ (покомпонентно)

$$F_{12}(\vec{a}) := \sum_j (y_j - f_{12}(\vec{a}, \vec{x}^j, z^j))^2. \quad (15)$$

Здесь: y_j – фактическое значение аппроксимируемой функции в j -м году,

$\vec{x} = (x_1 \dots x_n)$ – вектор факторов,

$\vec{a} = (a_1 \dots a_n)$ – вектор факторных параметров,

z^j – объём потребления,

b – внефакторный коэффициент,

i – номер фактора в формуле,

j – номер года,

c – коэффициент при потреблении,

k – номер регрессии.

При построении этих регрессий на коэффициенты наложены естественные ограничения $a_i \geq 0$ и $b \geq 0$. На коэффициент c мы никакие ограничения накладывать не будем. Коэффициенты регрессий будем искать с помощью минимизации соответствующих функционалов.

Сначала в качестве известных значений возьмём ВВП России, Китая, США, ЕС и мировой объём потребления вольфрама.

Таблица № 15 «Регрессии для цены вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США и ЕС и объёму потребления. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при потреб. (c)	(b)	функц.	прог. цены	отн. погр. (%)
лин. рег.	0.00	0.00	4,65E-04	0.00	4,32	0.00	5,10E+04	410,3	82,49
мул. рег.	9,43E-04	0.00	9,44E-05	0.00	1,26	1,43	5,02E+04	439,4	95,44
экс. рег.	0,129	0.00	0.00	3,14E-04	1,47E-02	68,20	5,29E+04	445,6	98,18
обр. рег.	2,04E-04	0.00	0.00	0.00	6,96E-03	151,49	5,62E+04	448,1	99,31
дроб. рац. типа 1	0.00	4,65E-04	0.00	4,318	0.00	0.00	7,16E+04	111,1	-102,4
дроб. рац. типа 2	345,26	0.00	0.00	0.00	0.00	3,82	6,19E+04	331,8	47,60
дроб. рац. типа 3	90,44	0.00	0.00	0.00	19,86	6,65	6,19E+04	331,9	47,63
дроб. рац. типа 4	6040,2	0.00	0.00	0.00			1,02E+05	233,3	3,78

Для такой комбинации факторов мы получили достаточно хорошее приближение с помощью дробно-рациональной регрессии типа 4. Теперь

попробуем построить те же самые регрессии для 4 факторов: ВВП России, Китая, США и объёма потребления.

Таблица № 16 «Регрессии для цены вольфрама по 4 факторам: ВВП России, Китая, США и объёму потребления. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг), $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при потреб. (c)	(b)	Знач. функц.	Прог. цены	Относит. погреш. (%)
лин. рег.	0,00	0,00	4,34E-08	4,32	0,00	5,10E+04	410,3	82,4
мул. рег.	1,41	7,86E-02	0,403	0,55	1,37	5,65E+04	418,7	86,2
эксп. рег.	0,128	0,00	4,37E-05	1,48E-02	68,6	5,29E+04	445,7	98,2
обр. рег.	0,00	0,00	0,00	-1,00	1,99E+04	1,22E+05	207,0	-7,93
дроб. рац. Типа 1	91,4	0,00	0,00	0,00	0,00	6,23E+04	335,6	49,3
дроб. рац. типа 2	2,53	0,00	0,00	-2,82E-04	4,84E-02	5,47E+04	429,9	91,2
дроб. рац. типа 3	90,42	0,00	0,00	1,79E+05	1,20E+06	6,19E+04	331,85	47,6
дроб. рац. типа 4	6040,2	0,00	0,00			1,02E+05	233,3	3,78

Для этой комбинации факторов мы тоже получили лучшее значение с помощью дробно-рациональной регрессии типа 4. Именно эту регрессию мы будем использовать для дальнейшего прогнозирования цены вольфрама:

$$y = \frac{6040,2x_1}{z}.$$

Спрогнозированная цена вольфрама: $y=175,153$ (\$/кг).

Разработка и запуск новых месторождений позволит производить 6217 тонн вольфрамового концентрата с содержанием WO_3 60%. Атомная масса вольфрама 183,8 г/моль, атомная масса кислорода 16г/моль. Чистого вольфрама в оксиде вольфрама 79%. Таким образом новые месторождения позволят получать 2946,9 тонн чистого металла в год. Годовой доход составит 516,158 млн долларов при суммарных затратах 600 млн. долларов. Расчётный срок эксплуатации месторождений – 20 лет, таким образом примерный общий ожидаемый доход от разработки этих месторождений составит 10,3 млрд долларов.

3.3. Построение регрессии для молибдена

Для молибдена, как и для вольфрама, мы сначала будем строить регрессии для потребления металла, на основе данных таблицы № 7 с помощью формул (1) - (5).

3.3.1. Построение регрессий и прогнозирование объёма потребления молибдена

Так же как и при построении регрессии для вольфрама, сначала в качестве известных значений попробуем взять ВВП России, Китая, США, ЕС и Японии.

Таблица № 17 «Регрессии для объёма потребления молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС и Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 250 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. При ВВП Япо- нии (a_5)	(b)	Знач. функц.	прогноз потреб.	Относ. погр. (%)
лин. рег.	20,4	0,403	16,7	0,00	0,00	-114,2	47,6	257,8	3,10
мул рег.	0,293	0,087	0,262	0,00	0,564	26,4	62,4	249,1	-0,38
экс. рег.	5,59E- 02	1,46E- 03	0,107	0,00	0,018	30,3	87,01	265,9	6,35
обр. рег.	0,035	5,12E- 04	0,029	4,58E -07	0,00	91,4	51,9	-1,51	- 1,01E+ 02

Наилучшее приближение мы получили, используя мультипликативную регрессию. Линейная и экспоненциальная регрессии также дали достаточно хороший результат.

Теперь построим регрессии используя другую комбинацию ВВП: России, Китая, США, ЕС и Индии.

Таблица № 18 «Регрессии для объёма потребления молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС и Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 250 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при ВВП Индии (a_5)	(b)	функц.	прогн. (тыс. тонн)	относ. погр. (%)
лин. рег.	14,5	0,10	0,00	7,52	10,4	0,00	62,6	264,3	5,66
мул. рег.	0,122	0,00	0,698	0,616	0,242	3,37	21,4	274,5	9,75
экс. рег.	9,81E-04	0,00	9,73E-04	9,01E-02	7,30E-02	34,9	21,4	297,9	19,1
обр. рег.	2,89E-04	0,00	0,00	3,17E-02	2,51E-02	79,4	24,8	-1,26	-100,5

По этой таблице мы видим, что наилучшее приближение дала линейная регрессия, мультипликативная и экспоненциальная дали достаточно хорошее приближения.

Но ввод ВВП Индии как одной из независимых переменных снова немного испортил результаты приближения. Поэтому попробуем взять 4 ВВП: России, Китая, США, Индии.

Таблица № 19 «Регрессии для объёма потребления молибдена по 4 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 250 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. При ВВП ЕС (a_4)	(b)	функц.	прогн. потреб. (тыс. тонн)	относ. погр. (%)
Лин. Рег.	23,6	1,87	9,55E-03	6,41	24,4	142,1	257,7	3,03
Мульти. Рег.	0,339	7,39E-05	1,20	0,00	5,4	48,4	257,7	-3,05
Эксп. Рег.	8,94E-02	1,22E-03	7,65E-02	0	48,6	49,8	2,60E+02	-3,86
Обр. рег.	3,56E-02	5,11E-04	2,94E-02	0	91,4	51,9	260,9	-4,30

В случае, когда мы используем комбинацию из 4 ВВП, все 4 регрессии дают очень хорошее приближение. Но для прогнозирования объёма потребления мы будем использовать формулу мультипликативной регрессии с коэффициентами из таблицы 17, так как она показала наилучшее приближение на данных контрольного года и небольшой функционал. Регрессия примет следующий вид:

$$y = 26,4x_1^{0,293}x_2^{0,087}x_3^{0,262}x_5^{0,564}.$$

Результат прогнозирования: 267,27 тысяч тонн составит мировое потребление молибдена в 2018 году.

3.3.2. Построение регрессий и прогнозирование цены молибдена

При построении регрессий для цены вольфрама мы выявили, что наилучшее приближение дают регрессии, которые используют объём потребления металла. Поэтому при регрессии для молибдена мы будем сразу строить, используя вместе ВВП и объём потребления по формулам (5)-(15).

Таблица № 20 «Регрессии для цены молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС и потреблении молибдена. Сравнение с фактическим значением в 2014 г. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при ВВП ЕС (a_4)	коэф. при потреб. (c)	(b)	Знач. функ.	Прогн. цены	Отн. погр. (%)
лин. рег.	0.00	0.00	0.00	5,67E-04	0.00	30,2	199,9	30,3	106,6
мул. рег.	0.00	0.00	0.00	2,13E-03	-1,94	1,13E+06	80,80	26,0	77,6
экс. рег.	1,30E-02	0.00	0.00	0.00	-2,87E-02	2,06E+04	244,8	16,6	13,2
обр. рег.	0,00	0,00	0,122	0,00	1,18E-02	22,54	1979	12,2	17,52
дроб. рац. типа 1	1,48E+04	0.00	0.00	0.00	0.00	31,39	254,6	31,4	53,4
дроб. рац. типа 2	0.00	0.00	0.00	2,60	5,95E-03	0.00	147,2	30,8	110,1
дроб. рац. типа 3	0.00	0.00	0.00	1,88	3,64E+05	3,68E+05	223,70	33,09	126,04
дроб. рац. типа 4	0.00	0.00	0.00	436,7			147,2	33,08	110,1

В данном случае достаточно хорошее приближение показали экспоненциальная и обратная регрессии.

Теперь построим регрессии на 4-х параметрах.

Таблица № 21 «Регрессии для цены молибдена по 4 факторам: ВВП России, Китая, США и потреблении молибдена. Сравнение с фактическим значением в 2014 г. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$ »

	коэф. при ВВП России (a_1)	коэф. при ВВП Китая (a_2)	коэф. при ВВП США (a_3)	коэф. при потреб. (c)	(b)	Знач. функц.	Прогноз цены (\$/кг)	Относ. погр. (%)
лин. рег.	0.00	0.00	3,00E-04	0.00	30,2	199,9	30,3	106,7
мульти. рег.	0.00	0.00	0,676	-1,41	1,00E+04	121,2	28,4	93,9
эксп. рег.	0.00	0.00	0,236	-1,74E-02	35,70	97,8	27,8	89,9
обр. рег.	0.00	0.00	35,3	-3,47	6,85E+03	85,2	26,7	82,7
дроб. рац. типа 1	1,46E-04	0.00	0.00	0.00	0,00	157,5	27,3	86,6
дроб. рац. типа 2	0.00	0.00	1,53	3,54E-03	0	158,3	26,22	79,1
дроб. рац. типа 3	0.00	0.00	1,85	1,56E-02	9,94	242,7	32,1	119,4
дроб. рац. типа 4	0.00	0.00	431,3			158,3	29,9	104,4

После построения этих регрессий мы получили не самые лучшие результаты и использовать их для прогнозирования объёма нельзя. Но в прошлый раз мы уже получили достаточно хорошее приближение, с помощью которого можем спрогнозировать цену. В таблице № 20 мы можем видеть, что

2 регрессии показали хороший результат на данных контрольного года, это экспоненциальная и обратная. Но у экспоненциальной регрессии значение функционала намного меньше, поэтому для своего прогноза мы будем использовать экспоненциальную регрессию

$$y = 20628e^{0,0133x_1 - 2,87z}.$$

Прогноз цены 11,98 (\$/кг). Разработка и запуск новых месторождений позволит получать 13110 тонн чистого молибдена в год. Таким образом, общий доход в год составит 157,06 млн долларов в год при затратах на разработку и запуск 557 млн. долларов в цена 2014 года. Расчётный срок эксплуатации месторождений молибдена 17 лет. Таким образом, общий ожидаемый доход после завершения разработки этих месторождений 2670 млн долларов.

3.4. Связь между потреблением и ценой вольфрама и молибдена

Найдём коэффициенты корреляции, чтобы показать связь между ценой и потреблением вольфрама и молибдена.

Расчёт коэффициентов корреляции будем производить по формуле:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{|n \sum x^2 - (\sum x)^2| |n \sum y^2 - (\sum y)^2|}}.$$

Сначала найдём коэффициент корреляции между потреблением вольфрама и молибдена. В качестве x возьмём объём потребления молибдена, в качестве y – объём потребления вольфрама.

Получили $r_1 = 0,956$. Это значит, что потребление молибдена и вольфрама сильно коррелируют друг с другом и уровень их потребления зависит от одних и тех же факторов.

Теперь найдём коэффициент корреляции между ценами на молибден и вольфрам. В качестве x возьмём цену на молибден, в качестве y – цену молибдена.

Получили $r_2 = 0,198$. Значит, скорее всего, цены на эти металлы зависят от разных факторов.

Так же найдём коэффициенты корреляции между ценой и объёмом потребления металлов. За x возьмём цену металла, за y – его потребление.

Для вольфрама этот коэффициент получился равным $r_3 = 0,225$. Значит цена и объём зависят друг от друга, хотя и не очень сильно.

Для молибдена этот коэффициент получился равным $r_4 = -0,875$, что говорит нам о сильной обратной связи между ценой молибдена и его потреблением.

Выводы

Мы построили различные регрессии и смогли спрогнозировать потребление и цены металлов в 2018 году в ценах 2014 года.

Потребление вольфрама составит 128 тыс. тонн и цена составит 175,153 \$/кг. Годовой доход с месторождений составит 557 млн. долларов. Приблизительный общий доход с месторождений составит 10,3 млрд. долларов (в ценах 2014 года). Это в 17,2 раза больше, чем будет инвестировано в производство.

Потребление молибдена составит 267,27 тыс. тонн и цена составит 11,98 \$/кг. Годовой доход с месторождений составит 157,6 млн долларов. Приблизительный общий доход с месторождений составит 2,67 млрд. долларов (в ценах 2014 года). Это в 4,8 раз больше, чем необходимые инвестиции.

Но в ходе нашей работы не учитывались текущие расходы на функционирование месторождения, поэтому однозначный вывод о необходимости разработки можно сделать только рассчитав текущие расходы.

Заключение

В ходе работы мы выяснили основные сферы применения вольфрама и молибдена, состояние минерально-сырьевой базы металлов. Определили затраты на разработку этих месторождений. С помощью известных регрессий нашли зависимость между потреблением вольфрама и молибдена и ВВП России, Китая, США, ЕС Японии и Индии. Для поиска зависимостей между ВВП и ценой на металлы дополнительно рассмотрели 4 нестандартные дробно-рациональные регрессии.

Спрогнозировали потребление металлов и их цены в 2018 году. По этим данным смогли оценить результаты разработки новых месторождений.

Список используемой литературы

1. Титц Т., Уилсон Дж. Тугоплавкие металлы и сплавы. — М: Металлургия, 1969. 352 с.
2. Вольфрам <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вольфрам>
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации»
<http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1257>
4. Молибден <https://ru.wikipedia.org/wiki/Молибден>
5. Пеплоу Марк Слепая медицина // В мире науки. 2017. № 4. С. 98 -103
6. Получение молибдена-99
<http://www.findpatent.ru/patent/220/2200997.html>
7. Сергеев И.С. Классификация запасов месторождений полезных ископаемых и их экономическая оценка // Экономика предприятия / Под ред. проф. Н.А Сафронова. — М.: Финансы и статистика, 2000. 511 с.
8. Шуман В. Мир камня. Горные породы и минералы. — М.: Мир, 1986. 215 с.
9. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа — М.: Финансы и статистика, 1981. — 302 с.
10. Расков Н.В. Макроэкономика для менеджеров. Изд. 2-е, исправленное и доп. СПб: изд. Высшая Школа Экономики, 2008. 208 с.

Приложения

Приложение № 1 «Регрессии для потребления вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 95 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. При ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	Знач. функц.	Прогноз потреб. (тонн)	Отн. погр. (%)
Мул. рег.	1,35	8,028E-05	0,244	0	0,947	0,472	0,044	23,7	-75,1
Экс. рег.	0,526	0	0	0	0,349	0,859	0,049	30,1	-68,4
Обр. рег.	0	0	3,72E-04	4,84E-04	1,35E-04	3,79E-05	3,81E-05	63,9	-32,7

Приложение № 2 «Регрессии для потребления вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 95 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. При ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	Знач. функц.	Прогн. потреб. (тонн)	Отн. погр. (%)
Мул. рег.	0,429	0	0,529	0,175	0,807	0,349	0,032	22,8	-75,9
Экс. рег.	4,09E-04	0	1,30E-02	0,176	0,208	1,00E-04	2,05E-02	0,127	-99,9
Обр. рег.	2,77E-05	0	4,04E-04	4,84E-04	0	3,57E-05	3,83E-05	63,8	-32,8

Приложение № 3 «Регрессии для цены вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду.»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. При ВВП ЕС	коэф. при ВВП Японии	(b)	Знач. функц.	Прогноз цены (\$/кг)	Отн. погр. (%)
Мул. рег.	0,38	0	0	0,159	2,11	1,05	0,55	179,8	-20,04
Экс. рег.	3,42E-04	0	0	0,122	0,41	1,29	0,61	225,8	0,45
Обр. рег.	1,71E-05	6,74E-05	8,39E-05	8,32E-05	2,91E-05	5,18E-06	1,68E-05	226,1	0,57

Приложение № 4 «Регрессии для цены вольфрама по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 224,83 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду.»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. при ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	Знач. функц.	прог. цены (\$/кг)	отн. погр (%)
Мул. рег.	2,91	0	2,43E+03	0,0623	0,446	1,25	0,707	131,8	-41,3
Экс. рег.	0,814	0	3,54E+04	0	0	2,89	0,697	57,8	-74,2
Обр. рег.	1,71E-06	0	0	2,35E+04	2,227E-05	0	1,49E-05	235,5	4,73

Приложение № 5 «Регрессии для потребления молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 250 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. при ВВП ЕС	коэф. при ВВП Японии	(b)	знач. функц.	прогноз потреб. (тонн)	отн. погр. (%)
Мул. рег.	0,39	0,00	1,14	0,19	0,00	1,27	0,00	93,6	-62,56
Экс. рег.	0	8,90E +04	0	0	8,90E-05	5,44	0,01	5,53	-97,79
Обр. рег.	0	0	0	0	0	04,36 E+03	2,90E-07	229,3	-8,31

Приложение № 6 «Регрессии для потребления молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 250 (тыс. тонн); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. при ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	знач. функц.	прогноз потреб. (тонн)	отн. погр. (%)
Мул. рег.	1,16E- 04	6,34E -06	1,36	0,266	0,241	0,487	7,03E- 04	82,2	-67,1
Экс. рег.	3,54E- 04	0	0	0,297	0,115	1,03E -03	0,022	0,451	-99,8
Обр. рег.	2,25E- 05	7,77E -05	9,22E -05	9,14E -05	3,77E-05	6,91E -06	1,15E- 06	200,7	-19,7

Приложение № 7 «Регрессии для цены молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. При ВВП ЕС	коэф. при ВВП Япони и	(b)	Знач. функц.	Прогно з цены (\$/кг)	Отн. погр. (%)
Мул. рег.	0	0	2,23E-03	0	0	3,39	0,21	3,41	-76,73
Экс. рег.	0	0	3,54E-04	0	0	3,39	0,21	3,41	-76,73
Обр. рег.	1,91E-03	1,79E-03	0	0	8,52E-04	0	7,71E-05	23,04	57,40

Приложение № 8 «Регрессии для цены молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции приведены к линейному виду»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. При ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	знач. функц.	прогноз цены (\$/кг)	отн. погр. (%)
Мул. рег.	0,844	5,44E-09	1,05E-08	0,0103	4,63E-09	2,34	0,361	7,23	-50,64
Экс. рег.	3,42E-04	0	0	0,114	0	1,55	0,261	11,61	-20,73
Обр. рег.	5,88E-05	1,98E-03	0	4,77E-04	0	0	8,14E-05	22,49	53,59

Приложение № 9 «Регрессии для цены молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Японии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции в натуральном виде»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. при ВВП ЕС	коэф. при ВВП Японии	(b)	Знач. функц.	прогноз цены (\$/кг)	Отн. погр. (%)
лин. Рег.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,3	199,8	30,25	106,63
мул. Рег.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,3	199,8	30,25	106,63
экс. Рег.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,3	199,8	30,25	106,63
обр. рег.	3,31E-03	1,60E-03	0	6,93E-05	0	0	67,89	1,63E-02	-99,89

Приложение № 10 «Регрессии для цены молибдена по 5 факторам: ВВП России, Китая, США, ЕС, Индии. Сравнение с фактическим значением. Фактическое значение 14,64 (\$/кг); $a_i, b \geq 0$. Функции в натуральном виде»

	коэф. при ВВП России	коэф. при ВВП Китая	коэф. при ВВП США	коэф. при ВВП ЕС	коэф. при ВВП Индии	(b)	Знач. функц.	прогноз цены (\$/кг)	Отн. погр. (%)
лин. Рег.	0	0	0	5,67E-04	0	30,2	199,8	30,2	106,2
мул. Рег.	0	9,99E-05	0	0,0469	0	26,5	200,9	30,4	107,5
экс. Рег.	0	0	0	0	0	30,3	199,8	30,2	106,6
обр. рег.	3,31E-03	1,60E-03	0	6,92E-05	0	0	67,9	1,56E-02	-99,8